

( D 4 )



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Übersetzung der  
europäischen Patentschrift**

③⑦ **EP 0 761 977 B 1**

⑩ **DE 696 11 582 T 2**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 04 D 29/02**  
F 04 D 29/28  
F 01 D 5/34

- ⑳ Deutsches Aktenzeichen: 696 11 582.4  
㉑ Europäisches Aktenzeichen: 96 401 835.2  
㉒ Europäischer Anmeldetag: 28. 8. 1996  
㉓ Erstveröffentlichung durch das EPA: 12. 3. 1997  
㉔ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 17. 1. 2001  
㉕ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 23. 8. 2001

**DE 696 11 582 T 2**

- ③⑥ Unionspriorität:  
9510205 30. 08. 1995 FR
- ⑦③ Patentinhaber:  
Société Nationale D'Etude et de Construction de  
Moteurs d'Aviation "S.N.E.C.M.A.", Paris, FR
- ⑦④ Vertreter:  
Klunker, Schmitt-Nilsen, Hirsch, 80797 München
- ⑦⑤ Benannte Vertragsstaaten:  
DE, ES, FR, GB, IT

- ⑦② Erfinder:  
Maurus, Jean-Pierre, 33150 Canon, FR; Martin,  
Guy, 33160 Saint Aubin de Medoc, FR

- ⑦⑥ Rotor aus hochtemperaturbeständige Verbundwerkstoff, insbesondere mit kleinem Diameter und sein  
Herstellungsverfahren

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II 5 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**DE 696 11 582 T 2**

0761977 17.04.01

K 51753/8

### Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft Turbinen und insbesondere solche, die dazu bestimmt sind, bei erhöhten Temperaturen und typischerweise bei Temperaturen oberhalb von 1000° C zu arbeiten.

10

Ein Anwendungsgebiet derartiger Turbinen besteht in der Durchwirbelung von Gasen oder der Belüftung in Öfen oder ähnlichen Anlagen, die dazu verwendet werden, um physikalisch-chemische Behandlungen bei erhöhten Temperaturen durchzuführen, wobei das Umgebungsmilieu beispielsweise durch Neutral- oder Inertgase gebildet ist.

15

Üblicherweise sind diese Turbinen aus Metall und bestehen im allgemeinen aus mehreren Elementen, die durch Schweißen zusammengefügt sind. Man kann jedoch auf das Dokument GB 813 133-A hinweisen, das eine Anordnung aus zwei metallischen Teilen zeigt, von denen das eine mit einer Scheibe, einer Nabe und Schaufeln ausgebildet ist, die einstückig mit der Scheibe geformt sind, und das andere in Gestalt einer Scheibe ausgebildet ist, wobei die zwei Teile mittels Schraube und Mutter auf dem Niveau ihrer Achse zusammengefügt sind.

20

25

Die Verwendung von Metall bringt mehrere Nachteile mit sich. So erfordert die größere Masse der sich drehenden Teile bedeutende Wellenstränge und sehr starke Motoren und erlegt schlechterdings eine Begrenzung der Rotationsgeschwindigkeit auf. Hinzu kommt eine

30

17.04.1 14:44

17.04.01

- 2 -

Begrenzung in der Temperatur im Hinblick auf die Gefahr des Fließens von Metall.

5 Darüberhinaus kann die Empfindlichkeit von Metall gegenüber Wärmeschocks die Bildung von Rissen oder Verformungen mit sich bringen. Hieraus ergeben sich Unwuchtigkeiten der sich drehenden Masse, welche eine Verringerung der Lebensdauer der Turbinen und ihrer Antriebsmotoren begünstigen. Nun können sich bei den weiter oben  
10 erwähnten Anwendungen bedeutende Wärmeschocks ergeben, insbesondere im Falle starker Einspritzung eines kalten Gases, um die Temperatur im Inneren eines Ofens in der Absicht schnell herabzusetzen, die Dauer von Behandlungszyklen zu reduzieren.

15 Um die Schwierigkeiten zu vermeiden, denen man bei Metallen begegnet, sind bereits andere Werkstoffe vorgeschlagen worden, um Turbinen herzustellen, insbesondere thermostrukturale Verbundwerkstoffe. Diese Werkstoffe sind im allgemeinen aus einem Faserverstärkungsgebilde oder Vorformling gebildet, das bzw. der durch eine Matrix verdichtet ist, und sie sind durch ihre mechanischen  
20 Eigenschaften, die sie dazu geeignet machen, Strukturelemente zu bilden, und durch ihre Fähigkeit gekennzeichnet, diese Eigenschaften bis zu erhöhten Temperaturen beizubehalten. Übliche Beispiele von thermostrukturellen Verbundwerkstoffen sind die Verbundwerkstoffe Kohlenstoff-Kohlenstoff (C-C), die aus einer Kohlenstoffaserverstärkung  
25 und einer Kohlenstoffmatrix gebildet sind, und die Verbundwerkstoffe mit Keramikmatrix (CMC), die aus einer Verstärkung aus Kohlenstofffasern oder Keramikfasern und einer Keramikmatrix gebildet sind.

17.04.1 14:44

17.04.01

- 3 -

Im Verhältnis zu Metallen weisen die thermostrukturellen Verbundwerkstoffe die wesentlichen Vorteile einer recht niedrigen Dichte und einer großen Stabilität bei erhöhten Temperaturen auf. Die Verringerung der Masse und die Unterdrückung der Gefahr des Fließens können erhöhte Rotationsgeschwindigkeiten und desgleichen sehr starke Durchsatzleistungen der Belüftung ermöglichen, ohne eine Überdimensionierung der Antriebsorgane zu erfordern. Darüberhinaus weisen die thermostrukturellen Verbundwerkstoffe eine sehr große Widerstandsfähigkeit gegenüber Thermoschocks auf.

Die thermostrukturellen Verbundwerkstoffe weisen somit bedeutende Vorteile in leistungsmäßiger Hinsicht auf, jedoch ist ihre Anwendung wegen ihrer reichlich hohen Kosten begrenzt. Neben den verwendeten Werkstoffen entstehen die Kosten im wesentlichen aus Schwierigkeiten, denen man begegnet, um Faser-Vorformlinge herzustellen, insbesondere, wenn die herzustellenden Teile komplizierte Gestalten aufweisen, was bei Turbinen der Fall ist, und aus der Dauer der Verdichtungszyklen.

Somit besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Turbinenausbildung vorzuschlagen, die insbesondere für die Herstellung der Turbine aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff geeignet ist, um aus den Vorteilen dieses Werkstoffs, jedoch mit Herstellungskosten, die soweit wie möglich reduziert sind, Nutzen zu ziehen.

Gemäß einem ihrer Gesichtspunkte hat die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Turbine zum Gegenstand, die eine Mehrzahl von Schaufeln aufweist, die zwischen zwei ringförmigen Scheiben angeordnet sind und Strömungspassagen zwischen einem Innenkranz und einem Außenkranz begrenzen, wobei die Schaufeln und

17.04.01

- 4 -

die Scheiben aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff bestehen, wobei gemäß diesem Verfahren:

- 5 (a) ein erstes Teil als einstückiges Teil aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff hergestellt wird, wobei dieses erste Teil eine erste Scheibe und die Schaufeln bildet, indem die folgenden Schritte durchgeführt werden:
- 10 - Herstellen eines ersten Faser-Vorformlings in Gestalt einer Platte, die äußere Abmessungen aufweist, die in Abhängigkeit von denjenigen des herzustellenden ersten Teils gewählt sind,
- wenigstens teilweises Verdichten des ersten Faser-Vorformlings durch eine Matrix, so daß der Vorformling wenigstens verfestigt wird, und
- 15 - Bearbeiten des ersten, wenigstens teilweise verdichteten Faser-Vorformlings, um ihm die Gestalt des ersten Teils zu verleihen;
- 20 (b) ein zweites Teil hergestellt wird, das die zweite Scheibe bildet, wobei dieses als einstückiges Teil aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff durch Fertigung eines zweiten Faser-Vorformlings, durch dessen Verdichten durch eine Matrix und durch Bearbeitung, um die zweite Scheibe zu bilden, hergestellt wird, und
- 25 (c) die Turbine dadurch zusammengebaut wird, daß das zweite Teil an den Schaufeln des ersten Teils zur Anlage gebracht wird.

17.04.1 14:44

17.04.01

- 5 -

5 Folglich wird die Turbine in ihrem wesentlichen Bereich aus nur zwei Teilen gebildet, was den Zusammenbau vereinfacht, und jedes Teil wird ausgehend von einem Faser-Vorformling mit einer einfachen Gestalt hergestellt. Dies trifft auch für das zweite Teil zu, weil es einfach eine Scheibe bildet, derart, daß der zweite Faser-Vorformling durch eine Platte gebildet sein kann. Was das erste Teil anbetrifft, so wird es durch Bearbeitung ausgehend von einem ersten Vorformling hergestellt, der durch eine Platte gebildet ist. Vorzugsweise wird der erste Faser-Vorformling in dem verfestigten, teilweise verdichteten Zustand  
10 bearbeitet und die Verdichtung wird durch die Matrix nach Bearbeitung weiterverfolgt.

15 Die Bearbeitung des ersten Teils bringt wesentliche Materialverluste mit sich, derart, daß die vorliegende Erfindung sich insbesondere, jedoch nicht ausschließlich für Turbinen mit kleinem Durchmesser eignet. Unter Turbine mit kleinem Durchmesser versteht man hier eine Turbine, deren Durchmesser des Außenkranzes etwa 500 mm nicht überschreitet.

20 Gemäß einer anderen, vorteilhaften Einzelheit des Verfahrens entsprechend der Erfindung wird die Turbine einzig und allein durch gegenseitiges Zusammendrücken des ersten Teils und des zweiten Teils auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche zusammengebaut. Es ist festgestellt worden, daß dieses alleinige Zusammendrücken den Zusammenbau der Turbine in sämtlichen funktionsmäßigen Ausbildungen  
25 dank der Steifigkeit des Verbundwerkstoffs gewährleistet. Dies ist umso mehr zutreffend, wenn der Durchmesser der Turbine kleiner ist. Es ist daher nicht notwendig, von Befestigungselementen vom Schraubentyp, die die zwei Teile durchdringen, Gebrauch zu machen. Es handelt sich um einen bedeutenden Vorteil, denn anderenfalls müßten die

17.04.1 14:44

17.04.01

- 6 -

verwendeten Schrauben aus Verbundwerkstoff bestehen, um erhöhten Temperaturen standzuhalten, und einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, der mit demjenigen der zusammengebauten Teile verträglich ist, was die Kosten in signifikanter Weise steigern würde.

5

Die Faser-Vorformlinge werden unter Verwendung an sich bekannter Verfahren hergestellt. Somit kann der erste Faser-Vorformling ebenso wie der zweite dadurch hergestellt werden, daß von einer flachen Stapelung von Schichten eines zweidimensionalen Faser-Gebildes ausgegangen wird und daß die Schichten untereinander durch Nadelung verbunden werden.

10

15

Gemäß einer Abwandlung und im Hinblick darauf, daß der erste Faser-Vorformling eine genügend große Dicke aufweisen muß, kann dieser dadurch hergestellt werden, daß von einer Wicklung eines Bandes eines zweidimensionalen Faser-Gebildes in übereinandergelegten Lagen ausgegangen wird und daß die Lagen untereinander durch Nadelung verbunden werden.

20

25

Gemäß einem anderen ihrer Gesichtspunkte hat die Erfindung eine Turbine zum Gegenstand, die ein erstes Teil und ein zweites Teil aufweist, wobei jedes Teil als ein einstückiges Teil hergestellt ist und das erste Teil eine erste Scheibe und Schaufeln bildet, die Strömungspassagen zwischen einem Innenkranz und einem Außenkranz begrenzen, während das zweite Teil eine zweite Scheibe bildet, die an den Schaufeln des ersten Teils zur Anlage gebracht ist, und wobei das erste Teil und das zweite Teil aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff hergestellt sind.

17.04.01

- 7 -

Vorteilhafterweise sind sie einzig und allein durch gegenseitiges Zusammendrücken auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche zusammengebaut.

5 Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, die zur Erläuterung, nicht aber zur Beschränkung dient, unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in welchen zeigen:

10 Fig. 1 eine Schnittansicht zur Veranschaulichung einer Turbine entsprechend der Erfindung, wobei diese Turbine auf einer Welle angebracht ist;

15 Fig. 2 eine perspektivische Ansicht zur Veranschaulichung eines ersten Bauteils der Turbine gemäß Fig. 1;

Fig. 3 eine teilweise Schnittansicht gemäß den Ebenen III-III nach der Fig. 2;

20 Fig. 4 aufeinanderfolgende Schritte der Bildung eines ersten Bauteils der Turbine gemäß der Fig. 1;

25 Fig. 5 aufeinanderfolgende Schritte bezüglich einer Abwandlung der Herstellung des Vorformlings für die Bildung eines ersten Bauteils der Turbine gemäß der Fig. 1;

Fig. 6 aufeinanderfolgende Schritte der Bildung eines zweiten Bauteils der Turbine gemäß der Fig. 1;

17.04.1 14:44



17.04.01

- 8 -

Fig. 7 eine Schnittansicht zur Veranschaulichung einer Abwandlung der Herstellung einer Turbine gemäß der Erfindung; und

5 Fig. 8 eine Schnittansicht zur Veranschaulichung einer anderen Abwandlung der Herstellung einer Turbine gemäß der Erfindung.

10 Fig. 1 zeigt im Schnitt eine Turbine 10, die zwei einstückige Teile 20, 30 aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff aufweist, die durch gegenseitiges Zusammendrücken auf einer Welle 12 zusammengebaut sind. Der die Teile 20 und 30 bildende Werkstoff ist beispielsweise ein Verbundwerkstoff Kohlenstoff-Kohlenstoff (C-C) oder ein Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix, z.B. ein Verbundwerkstoff C-SiC (Faserverstärkung aus Kohlenstoff und Matrix aus Siliziumcarbid).

20 Das Teil 20 (Figuren 1-3) weist eine Mehrzahl von Schaufeln 22 auf, die auf einer inneren Seite 24a einer ringförmigen Scheibe 24 angeordnet sind. Die Schaufeln 22 erstrecken sich zwischen dem Außenumfang und dem Innenumfang der Scheibe 24, im wesentlichen rechtwinklig zu dieser. Die Füße 22a der Schaufeln 22 sind mit einem eine Nabe 26 bildenden, mittleren Bereich verbunden, dessen Innendurchmesser wesentlich unterhalb desjenigen der Scheibe 24 liegt. Die Nabe 26 weist ferner eine Dicke unterhalb der Länge der Schaufeln 22 auf und ist von 25 der Scheibe 24 längs der Achse A der Turbine derart beabstandet, daß die Außenseite 24b der Scheibe einerseits und die Außenseite 26b der Nabe andererseits mit den Längsrändern 22b der Schaufeln 22 die entgegengesetzten Seiten des Teils 20 bilden.

17.04.01

- 9 -

Das Teil 30 bildet eine ringförmige Scheibe, deren Außendurchmesser gleich zu demjenigen der Scheibe 24 ist und deren Innendurchmesser gleich zu demjenigen der Nabe 26 ist.

5 Das Teil 30 ist an der Außenseite 26b der Nabe 26 und an den Längsrändern 22b der Schaufeln 22 angelegt. Das gegenseitige Zusammendrücken der Teile 20 und 30 wird durch Klemmung zwischen einer Schulter 12a der Welle 12 und einem Ring 14 mit Hilfe einer Schraubenmutter 15 durchgeführt.

10 Die Ansaugung durch die Turbine wird von dem Raum 16 ausgehend durchgeführt, der zwischen der Scheibe 24 und der Nabe 26 angeordnet und von dem Innenkranz 17 der Turbine auf dem Niveau der Füße der Schaufeln 22 umgeben ist. Der Ausstoß des angesaugten Fluids wird  
15 quer durch den Außenkranz 19 der Turbine auf dem Niveau der Enden der Schaufeln 22 nach Strömung quer durch die Passagen 18 bewirkt, die durch die Schaufeln 22 und die Scheiben 24 und 30 begrenzt sind.

20 Die Steifigkeit des thermostrukturellen Verbundwerkstoffs verursacht, daß die alleinige Kraft des Zusammendrückens auf dem Niveau der mittleren Bereiche der Teile 20 und 30 ausreicht, um sie zusammengebaut zu halten, einschließlich während des Betriebs der Turbine, wobei keine Ablösung beobachtet wurde. Wie bereits  
25 angegeben, ist dies umso mehr zutreffend, wenn die vorliegende Erfindung vorzugsweise bei Turbinen mit kleinem Durchmesser angewendet wird, d.h. mit einem Außendurchmesser, der etwa 500 mm nicht überschreitet.

17.04.01

- 10 -

Wie in Fig. 1 dargestellt ist, weist die Seite der Nabe 26 bzw. der Scheibe 30, wobei sich auf der jeweiligen Seite die Schulter 12a bzw. der Ring 14 abstützt, eine kegelstumpfförmige Gestalt auf, in gleicher Weise wie die entsprechende Seite der Schulter 12a bzw. des Rings 14. Diese kegelstumpfförmigen Auflageflächen weisen Scheitel auf, die im wesentlichen vereinigt und in der Achse A der Turbine angeordnet sind. Auf diese Art und Weise haben Dehnungsunterschiede thermischen Ursprungs zwischen den Teilen 20 und 30 einerseits und der Welle 12 und dem Ring 14 andererseits ein Gleiten ohne zerstörende Wirkung zur Folge.

Aufeinanderfolgende Stufen des Verfahrens zur Herstellung des Teils 20 sind in Fig. 4 gezeigt. Das Teil 20 wird ausgehend von einer Faserstruktur in Gestalt einer Platte 200 hergestellt (Stufe 41). Eine derartige Struktur wird beispielsweise durch flache Stapelung von Schichten eines zweidimensionalen Faser-Gebildes, z.B. eines Faden- oder Seil-Geleges, Gewebes, ..., und durch Verbinden der Schichten untereinander durch Nadelung hergestellt. Ein Verfahren zur Herstellung von Faserstrukturen dieser Art ist in dem Dokument FR-A-2 584 106 beschrieben.

Ein erster Vorformling 201 mit ringförmiger Gestalt wird aus der Platte 200 geschnitten, wobei die Abmessungen des Vorformlings 201 in Abhängigkeit von denjenigen des herzustellenden Teils 20 gewählt werden (Stufe 42).

Der Vorformling 201 wird einer ersten Stufe der Verdichtung durch die Matrix des herzustellenden thermostrukturellen Verbundwerkstoffs unterworfen (Stufe 43). Die Verdichtung wird in der Art durchgeführt,

17.04.1 14:44

17.04.01

- 11 -

um den Vorformling zu verfestigen, d.h., um die Fasern des Vorformlings untereinander in der Weise zu verbinden, die ausreichend ist, um die Handhabung und die Bearbeitung des verfestigten Vorformlings zu ermöglichen. Die Verdichtung wird in an sich bekannter  
5 Art und Weise durch chemische Infiltration in der Dampfphase oder auf flüssigem Wege durchgeführt, d.h. durch Imprägnierung durch einen Vorläufer der Matrix in dessen flüssigem Zustand und durch Umwandlung des Vorläufers.

10 Der verfestigte Vorformling wird einer ersten Stufe der Bearbeitung unterworfen, in deren Verlauf die Schaufeln ausgehend von einer Seite des Vorformlings gebildet werden (Stufe 44), sodann wird er einer zweiten Stufe der Bearbeitung unterworfen, in deren Verlauf er in seiner Mitte ausgehend von der entgegengesetzten Seite in der Art ausgehöhlt  
15 wird, um die Ansaugzone zu bilden, wobei der Bereich der Nabe gelassen wird (Stufe 45).

Der verfestigte und bearbeitete Vorformling 202 wird sodann einer oder mehreren Zyklen der Verdichtung bis zur Erzielung des gewünschten  
20 Grades der Verdichtung durch die Matrix unterworfen (Stufe 46).

Der somit letztendlich verdichtete Vorformling wird einer Endbearbeitung unterworfen, um ihn auf die genauen Maße des Teils 20 zu bringen (Stufe 47).

25 Im vorangehenden hat man die Bearbeitung des Vorformlings nach Verfestigung und vor vollständiger Verdichtung in Betracht gezogen, was die End-Verdichtung begünstigt, weil diese bei dicken Faserstrukturen in homogener Art schwieriger durchzuführen ist. Jedoch wird nicht

17.04.01

- 12 -

ausgeschlossen, die Bearbeitung des Vorformlings nach vollständiger Verdichtung durchzuführen.

5        Gemäß einer anderen Abwandlung (Fig. 5) wird der Vorformling des Teils 20 ausgehend von einer zylindrischen Faserstruktur 200' hergestellt, die durch Wickeln eines Bandes eines zweidimensionalen Faser-Gebildes in übereinandergelegten Lagen auf einem Dorn und durch Verbinden der Schichten untereinander durch Nadelung hergestellt wird (Stufe 51). Ein Verfahren zur Herstellung von Faserstrukturen dieser Art  
10        ist in dem Dokument FR-A-2 584 107 beschrieben.

Es werden Vorformlinge 201' mit ringförmiger Gestalt aus der zylindrischen Struktur 200' gemäß radialen Ebenen geschnitten (Stufe 52).

15        Jeder Vorformling 201' wird sodann auf die gleiche Art wie der Vorformling 201 der Fig. 4 behandelt.

20        Wie in Fig. 6 gezeigt ist, wird das Teil 30 ausgehend von einer Faserstruktur in Gestalt einer Platte 300 hergestellt. Diese Struktur wird beispielsweise durch flache Stapelung von Schichten eines zweidimensionalen Faser-Gebildes und durch Verbinden der Schichten untereinander durch Nadelung hergestellt (Stufe 61).

25        Es wird ein Vorformling 301 mit ringförmiger Gestalt aus der Platte 300 geschnitten, wobei die Abmessungen des Vorformlings in Abhängigkeit von denjenigen des herzustellenden Teils 30 gewählt werden (Stufe 62).

17.04.01

- 13 -

Der Vorformling 301 wird durch die Matrix verdichtet, wobei die Verdichtung durch chemische Infiltration in der Dampfphase oder auf flüssigem Wege durchgeführt wird (Stufe 63).

- 5 Der verdichtete Vorformling wird einer Endbearbeitung unterworfen, damit er auf die Maße des Teils 30 gebracht wird (Stufe 64).

Es könnte von anderen Arten der Herstellung einer Turbine unter Verwendung zweier einstückiger Teile aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff Gebrauch gemacht werden, die zwei Schaufel-Scheiben und eine Nabe definieren.

10 Die Turbine 110 nach der Fig. 7 ist im wesentlichen aus zwei Teilen 120, 130 aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff gebildet. Sie unterscheidet sich von der Turbine nach der Fig. 1 dadurch, daß bei dem Teil 120 die Schaufeln 122 eine Höhe aufweisen, die zwischen dem Innenkranz 117 und dem Außenkranz 119 der Turbine abnimmt. Diese abnehmende Höhe erlaubt es, die Tatsache zu kompensieren, daß die Breite der durch die Schaufeln 122 begrenzten Passagen 118 zwischen dem Innenkranz und dem Außenkranz derart zunimmt, daß die Eintritts- und Austrittsquerschnitte der Passagen 118 im wesentlichen gleich sind.

20 Die an dem Teil 120 angebrachte Scheibe 130 weist nunmehr in ihrem mittleren, an der Nabe 126 angelegten Bereich 130a eine Scheibengestalt und in ihrem an den Schaufeln 122 angelegten Umfangsbereich eine kegelstumpfförmige Gestalt auf.

Für die Herstellung der Scheibe 130 kann man von einem ringförmigen Faser-Vorformling in Gestalt einer Scheibe ausgehen, der mit Hilfe eines

17.04.01

- 14 -

Werkzeugs zu der gewünschten Gestalt gebracht und durch teilweise Verdichtung verfestigt wird, wobei er in dem Werkzeug gehalten wird. Nach Verfestigung kann der Vorformling aus dem Werkzeug entnommen werden, um die Verdichtung weiterzuverfolgen.

5

Wie bereits angegeben, findet die vorliegende Erfindung insbesondere Anwendung bei Turbinen mit verhältnismäßig kleinen Durchmessern. Die Durchsatzleistung der Turbine kann für einen gegebenen Durchmesser vergrößert oder verkleinert werden, indem man die Höhe der Passagen vergrößert oder verkleinert, d.h. die Dicke der Turbine. Da der Materialverlust während der Bearbeitung der Schaufeln umso größer ist, je größer ihre Höhe gemacht wird, ist es aus Kostengründen vorzuziehen, die Dicke der Turbine zu begrenzen, indem sie beispielsweise etwa 100 mm nicht überschreitet.

15

Eine Lösung, um die Durchsatzleistung zu vergrößern, besteht nunmehr darin, zwei Turbinen 10', 10'' auf einer gleichen Achse zu koppeln, wie in Fig. 8 dargestellt ist. Jede Turbine 10' bzw. 10'' weist zwei einstückige Teile aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff auf, nämlich ein erstes Teil 20' bzw. 20'', das Schaufeln 22' bzw. 22'', eine Scheibe 24' bzw. 24'' und eine Nabe 26' bzw. 26'' bildet, und ein zweites Teil 30' bzw. 30'', das jeweils eine Scheibe bildet.

20

Die Turbine 10' ist zu der Turbine 10 nach der Fig. 1 ähnlich, während die Turbine 10'' sich durch die Anordnung der Schaufeln davon unterscheidet. In der Tat ist die Anordnung der Schaufeln 22'' an dem Teil 20'' in bezug auf eine radiale Ebene zu der Anordnung der Schaufeln 22' an dem Teil 20' symmetrisch. So definieren, wenn die Turbinen 10', 10'' durch gegenseitige Berührung zwischen den

25

17.04.01

- 15 -

Außenseiten der Scheiben 24', 24'' angebaut sind, die Schaufeln 22', 22'' Strömungspassagen, die in der gleichen Art um die gemeinsame Achse der Turbinen orientiert sind.

- 5 Die Teile 20', 30', 30'' und 20'' werden durch gegenseitiges Zusammendrücken auf einer gemeinsamen Welle 12' zwischen einer Schulter 12'a und einem Ring 14' mit Hilfe einer Schraubenmutter 15' zusammengebaut. Die Seite der Nabe 26' bzw. 26'', gegen die die Schulter 12'a bzw. der Ring 14' anliegt, weist eine kegelstumpfförmige
- 10 Gestalt auf, ebenso wie die entsprechende Seite der Schulter 12'a bzw. des Rings 14'. Ein Ergänzungsring 14'' mit dreieckförmigem Querschnitt ist zwischen den Scheiben 30' und 30'' angeordnet, wobei deren jeweilige Seite, die an dem Ring 14'' anliegt, eine kegelstumpfförmige Gestalt aufweist. Die kegelstumpfförmigen Anlageflächen der Scheibe
- 15 30' an dem Ring 14' und der Nabe 26' an der Schulter 12'a weisen Scheitel auf, die im wesentlichen vereinigt und in der Achse der Turbinen angeordnet sind, ebenso wie die Anlageflächen der Scheibe 30'' an dem Ring 14'' und der Nabe 26'' an dem Ring 14'. Auf diese
- 20 Art und Weise können Abmessungsänderungen thermischen Ursprungs zwischen den Teilen der Turbinen einerseits und der Welle und den Klemmringen andererseits durch paralleles Gleiten an kegelstumpfförmigen Anlageflächen kompensiert werden, in der gleichen Art wie bei der Turbine 10 der Fig. 1.
- 25



17.04.01

EP 0 761 977

## ANSPRÜCHE

5

1. Verfahren zur Herstellung einer Turbine, die eine Mehrzahl von  
Schaufeln aufweist, die zwischen zwei Scheiben angeordnet sind,  
wobei die Schaufeln und die Scheiben aus einem thermostrukturellen  
Verbundwerkstoff bestehen, wobei gemäß diesem Verfahren:

10

- (a) ein erstes Teil als einstückiges Teil aus thermostrukturellem  
Verbundwerkstoff hergestellt wird, wobei dieses erste Teil  
eine erste Scheibe und die Schaufeln bildet, indem die  
folgenden Schritte durchgeführt werden:

15

- Herstellen eines ersten Faser-Vorformlings in Gestalt  
einer Platte, die äußere Abmessungen aufweist, die in  
Abhängigkeit von denjenigen des herzustellenden  
ersten Teils gewählt sind,
- wenigstens teilweises Verdichten des ersten Faser-  
Vorformlings durch eine Matrix, so daß der  
Vorformling wenigstens verfestigt wird, und
- Bearbeiten des ersten, wenigstens teilweise  
verdichteten Faser-Vorformlings, um ihm die Gestalt  
des ersten Teils zu verleihen;

20

25

- (b) ein zweites Teil hergestellt wird, das die zweite Scheibe  
bildet, wobei dieses als einstückiges Teil aus  
thermostrukturellem Verbundwerkstoff durch Fertigung  
eines zweiten Faser-Vorformlings, durch dessen Verdichten  
durch eine Matrix und durch Bearbeitung, um die zweite  
Scheibe zu bilden, hergestellt wird, und

30

17.04.01

- 2 -

(c) die Turbine dadurch zusammengebaut wird, daß das zweite Teil an den Schaufeln des ersten Teils zur Anlage gebracht wird.

- 5           2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Faser-Vorformling in dem verfestigten, teilweise verdichteten Zustand bearbeitet wird und daß die Verdichtung durch die Matrix nach Bearbeitung weiterverfolgt wird.
- 10           3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung des ersten Faser-Vorformlings in Gestalt der wenigstens teilweise verdichteten Platte die Herstellung der Schaufeln durch Bearbeitung ausgehend von einer Seite der Platte und die Herstellung einer Ansaugzone durch
- 15           Ausmulden eines mittleren Bereichs der Platte ausgehend von der entgegengesetzten Seite aufweist, wobei eine mittlere Nabe gelassen wird.
- 20           4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Faser-Vorformling dadurch hergestellt wird, daß von einer flachen Stapelung von Schichten eines zweidimensionalen Faser-Gebildes ausgegangen wird und daß die Schichten untereinander durch Nadelung verbunden werden.
- 25           5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Faser-Vorformling dadurch hergestellt wird, daß von einer Wicklung eines Bandes eines zweidimensionalen Faser-Gebildes in übereinandergelegten Lagen ausgegangen wird und daß die Lagen untereinander durch Nadelung verbunden werden.

17.04.1 14:47

17.04.01

- 3 -

- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Faser-Vorformling dadurch hergestellt wird, daß von einer flachen Stapelung von Schichten eines zweidimensionalen Faser-Gebildes ausgegangen wird und daß die Schichten untereinander durch Nadelung verbunden werden.
- 10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Turbine einzig und allein durch gegenseitiges Zusammendrücken des ersten Teils und des zweiten Teils auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche zusammengebaut wird.
- 15 8. Turbine, die ein erstes Teil und ein zweites Teil aufweist, wobei jedes Teil als ein einstückiges Teil hergestellt ist und das erste Teil (20) eine erste Scheibe (24) und Schaufeln (22) bildet, die Strömungspassagen zwischen einem Innenkranz (17) und einem Außenkranz (19) begrenzen, während das zweite Teil eine zweite Scheibe (30) bildet, die an den Schaufeln (22) des ersten Teils zur Anlage gebracht ist,
- 20 dadurch gekennzeichnet, daß das erste Teil und das zweite Teil aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff hergestellt sind.
- 25 9. Turbine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Teil (20) und das zweite Teil (30) einzig und allein durch gegenseitiges Zusammendrücken auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche zusammengebaut sind.
10. Turbine nach einem der Ansprüche 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem ersten Teil sich die Schaufeln (22)

17.04.01

- 4 -

zwischen dem Außenumfang und dem Innenumfang und von einer Seite eines ringförmigen, scheibenförmigen Bereichs, der die erste Scheibe (24) bildet, erstrecken und auf dem Niveau ihrer Füße mit einem eine Nabe (26) bildenden, mittleren Bereich verbunden sind.

5

11. Turbine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der die Nabe (26) bildende, mittlere Bereich eine Dicke unterhalb der Breite der Schaufeln (22) aufweist.

10. 12. Turbine nach einem der Ansprüche 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem ersten Teil der die ringförmige Scheibe (24) bildende Bereich und der die Nabe (26) bildende Bereich sich an zwei einander entgegengesetzten Seiten des Teils befinden.

15 13. Turbine nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem ersten Teil der die Nabe (26) bildende, mittlere Bereich einen Innendurchmesser aufweist, der unterhalb desjenigen des die Scheibe (24) bildenden, ringförmigen Bereichs liegt.

20

14. Turbine nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Teil (20) und das zweite Teil (30) durch gegenseitiges Zusammendrücken zusammengebaut sind, das auf die jeweilige, zu dem ersten Teil und dem zweiten Teil zugehörige Anlagefläche auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche ausgeübt wird, wobei diese Anlageflächen eine kegelstumpfförmige Gestalt mit Scheiteln aufweisen, die im wesentlichen vereinigt und in der Achse der Turbine angeordnet sind.

25

17.04.01

- 5 -

5 15. Turbine nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufeln (22) eine abnehmende Höhe zwischen dem Innenkranz und dem Außenkranz derart aufweisen, daß Passagen mit Austrittsquerschnitten im wesentlichen gleich zu Eintrittsquerschnitten begrenzt werden.

10 16. Turbine nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß sie mehrere koaxiale Anordnungen aufweist, von denen jede ein erstes Teil (20', 20") und ein zweites Teil (30', 30") aufweist, die einzig und allein durch gegenseitiges Zusammendrücken auf dem Niveau ihrer mittleren Bereiche zusammengebaut sind.

15

0761 977

17.04.01

1/3

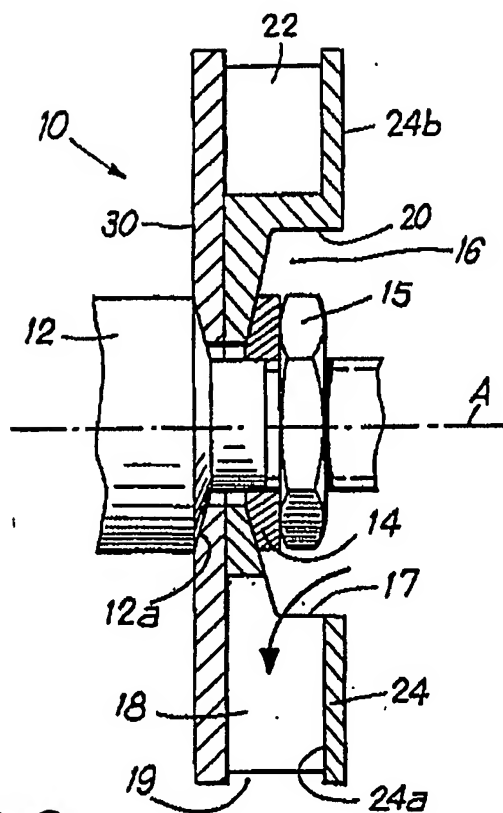


FIG.1

FIG.2

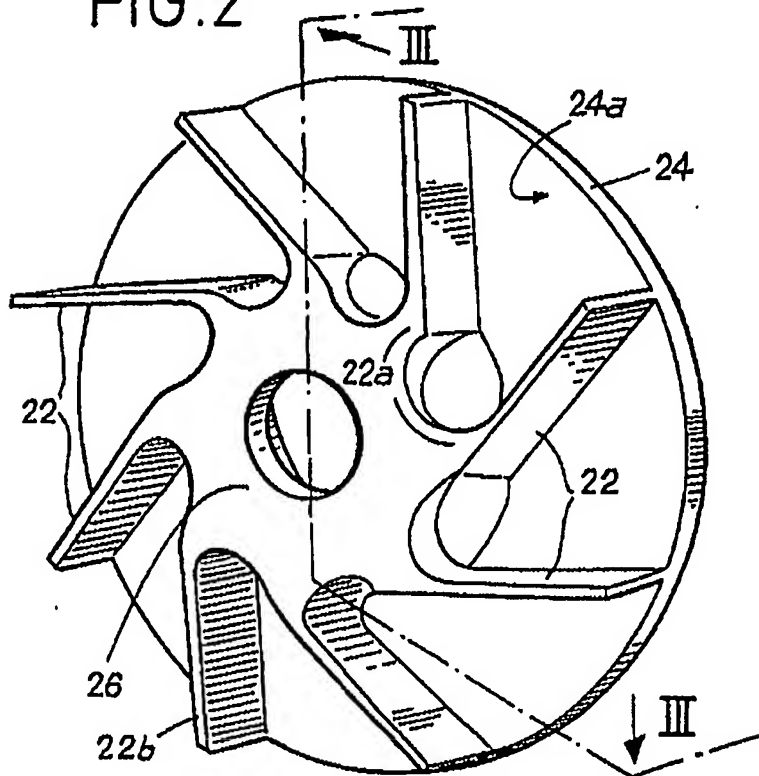
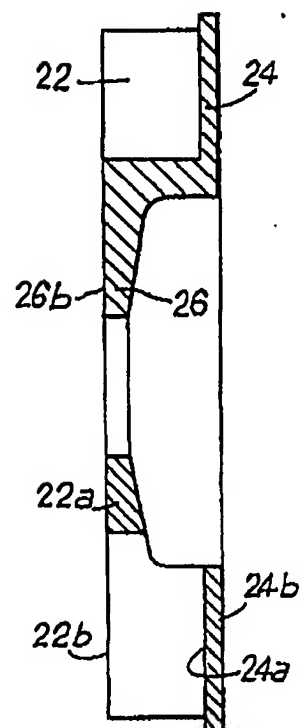


FIG.3



17.04.01

2/3

FIG. 4

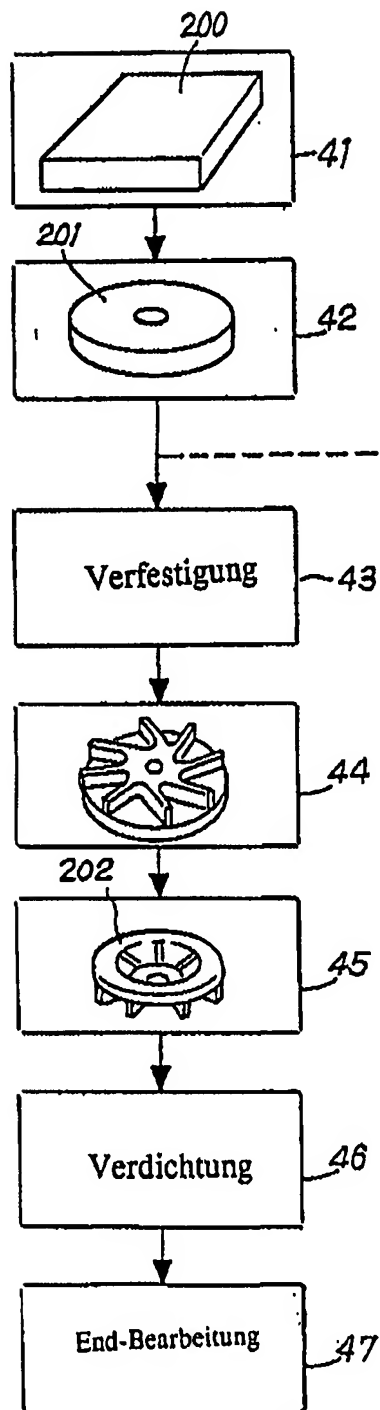


FIG. 5

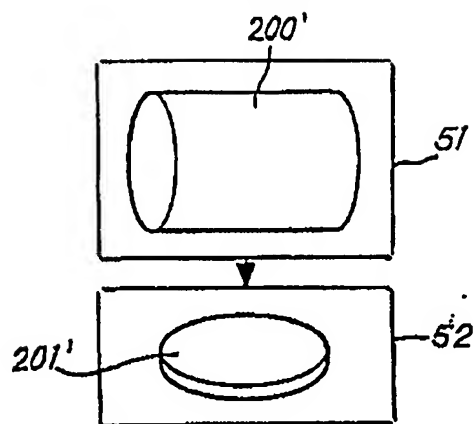
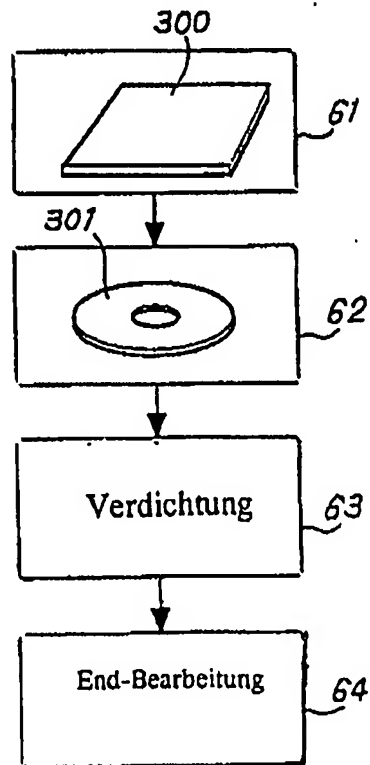


FIG. 6



17-04-01

3/3

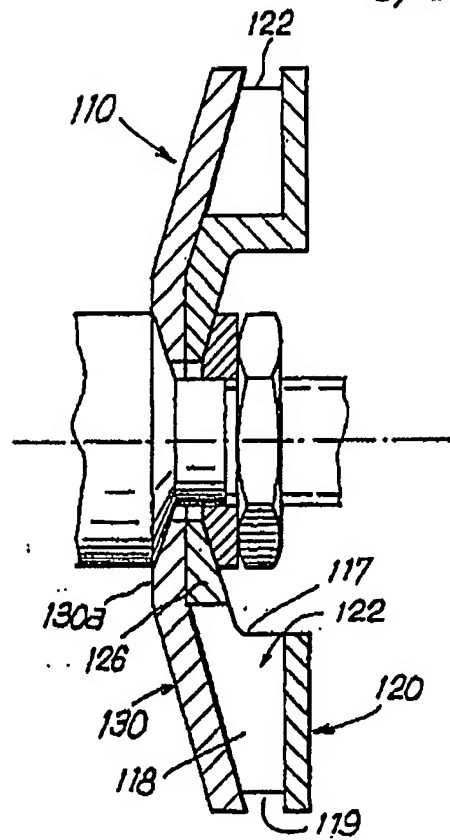


FIG. 7

FIG. 8

